

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕРТИКАЛЬНОГО КАНАЛА АКТИВНОЙ СИЛОКОМПЕНСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

Зарницын А.Ю., Звонцова К.К.

Научные руководители: Малышенко А.М., профессор, д.т.н.; Воронин А.В., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ayz10@tpu.ru

**STUDYING THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE VERTICAL CHANNEL ACTIVE FORCES COMPENSATION SYSTEM**

Zarnitsyn A., Zvoncova K.

Scientific Supervisors: Prof., Dr. Malysenko A.M.; Associate Professor, Ph.D., Voronin A.V.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ayz10@tpu.ru

*Производство космических кораблей и спутников бесспорно является науко-трудоемкой отраслью. Прежде чем вывести спутник на орбиту необходимо провести ряд мероприятий с целью выявления каких-либо недостатков, дефектов. Такими мероприятиями могут являться имитационное, физическое, математическое моделирование.*

*Одним из условий наземных испытаний космического спутника является невесомость, её реализация(имитация) позволит максимально приблизить условия испытаний к реальным.*

*Решением данного вопроса может являться применение систем обезвешивания. В статье были изучены динамические свойства вертикального канала активной силокомпенсирующей системы с целью дальнейшего синтеза регулятора. Настроенный должным образом вертикальный канал системы обезвешивания позволит максимально приблизить наземные испытания космических спутников к реальным условиям. Результаты математического моделирования представленные в статье позволяют сделать вывод о свойствах самой системы, поведение которой по характеру схоже с поведением вертикального канала испытываемого в реальных условиях.*

*Manufacture of spacecraft and satellites is undoubtedly time-consuming industry. Before you bring a satellite into orbit is necessary to conduct a number of activities in order to identify any defects. These activities may include simulation, physical, mathematical modeling.*

*One of the conditions of ground tests of the satellite space is weightless, its implementation (simulation) allows as close to real testing conditions. The solution of this problem may be the use of zero-gravity systems.*

*The paper properties were studied dynamic vertical forces compensating channel active system to control further synthesis. Configured properly vertical channel of the system will allow to approximate the ground testing of space satellites to real conditions.*

**Введение.** Системы обезвешивания в основном делятся на три группы: активные, пассивные и комбинированные. В активных системах обезвешивание достигается посредством регулирования момента создаваемым электроприводом, в пассивных – посредством использования противовесов, в комбинированных - сочетаются свойства первых двух систем. Помимо этого, во время испытаний необходимо точно отслеживать перемещение элементов космических спутников посредством следящих систем. Также существуют способы имитации невесомости для обезвешивания деталей крупногабаритных трансформируемых изделий (КТИ), реализуемых с использованием воздушных опор [1], разгрузки рефлектора антенны с помощью воздушных шаров [2], использовании специальной конструкции, в состав которой входят воздушные подшипники [3] и другие способы обезвешивания элементов КТИ.

На рисунке 1 представлено схематическое изображение активной системы обезвешивания.

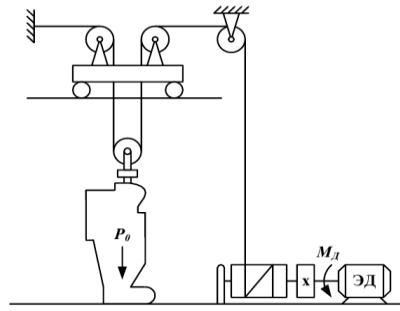


Рис. 1. Активная система обезвешивания

Применение активной системы обезвешивания может быть реализовано для обезвешивания спиц в процессе раскрытия рефлекторов спутников.

**Вывод уравнений и построение математической модели.** Рассмотрим систему из одного груза весящего на тросе (рисунок 2).

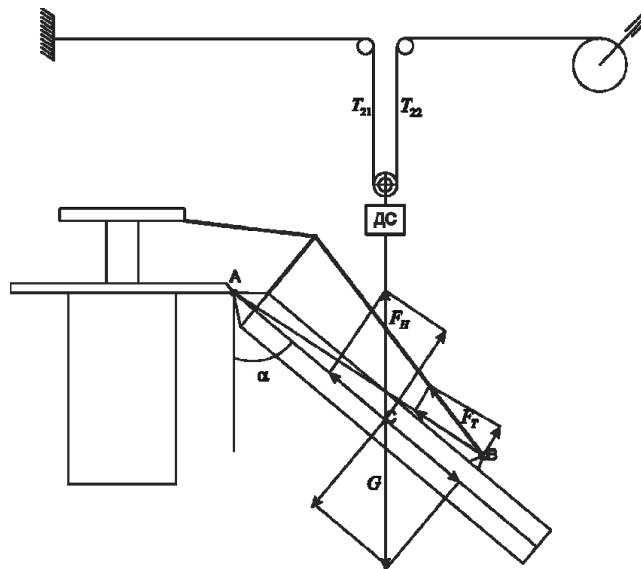


Рис. 2. Кинематическая схема системы активного обезвешивания спицы

Запишем систему уравнений по второму закону Ньютона описывающие динамику спицы [4]:

$$ma_1 = -mg + T_2 + k(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + F_T \frac{L_{AB}}{L_{AC}} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} \quad (1)$$

$$T_2 = Q(x_1 - x_2) \quad (2)$$

Для датчика силы:

$$m_o a_2 = -m_o g + T_2' + F_H \quad (3)$$

$$\bar{T}_2' = \bar{T}_2 + k(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \quad (4)$$

$$F_H = Q'x_1 \quad (5)$$

Где  $x_1$  - координата датчика,  $x_2$  - координата груза,  $m$  - масса груза,  $m_0$  - масса датчика,  $Q'$  - жесткость троса между датчиком и лебедкой,  $Q$  - жёсткость троса между датчиком и грузом,  $k$  - аэродинамический коэффициент сопротивления,  $\ddot{a}_2$  - ускорение датчика,  $\ddot{a}_1$  - ускорение груза,  $F_T$  - сила натяжения создаваемое в оттяжке спицы.

Точка подвеса спицы будет совершать вращательное движение, так как горизонтальное перемещение спицы не влияет на величину сил вертикального канала, то в уравнениях (1) и (4) под ускорениями понимается проекция тангенциального ускорения точки подвеса на вертикальную ось.

Для достижения эффекта обезвешивания необходимо чтобы привод создавал момент компенсирующий момент внешнего усилия. Структурная схема системы автоматического натяжения троса (САУ НТ) представлена на рисунке 3.

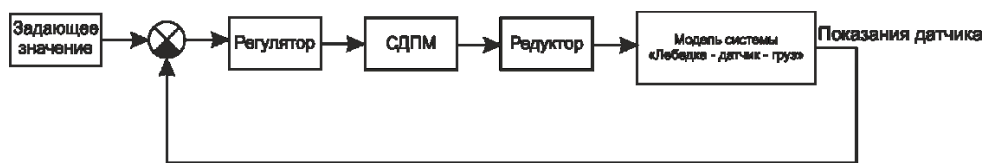


Рис. 3. Структурная схема САУ НТ

Также нужно отметить, что при составлении математической модели приняты следующие допущения:

1. Трение в редукторе и троса о подвижные части отсутствует.
2. Растяжение и сжатие троса подчиняется закону Гука.
3. В данных условиях жесткость каната существенно не зависит от длины.

В качестве привода для активной системы обезвешивания был выбран синхронный привод с постоянными магнитами (СДПМ). Это сервопривод, который состоит из сервоусилителя и непосредственно самого привода, имеет внутренние обратные связи и может работать в режиме управления моментом, скорости или положения. Касательно вертикального канала обезвешивания нас интересует регулирование момента.

Соберем имитационную модель в ППП Matlab приложение Simulink в соответствии с уравнениями (1), (2), (3), (4), (5) и снимем график переходного процесса при условиях когда к основной массе добавляют массу равную 2 кг.

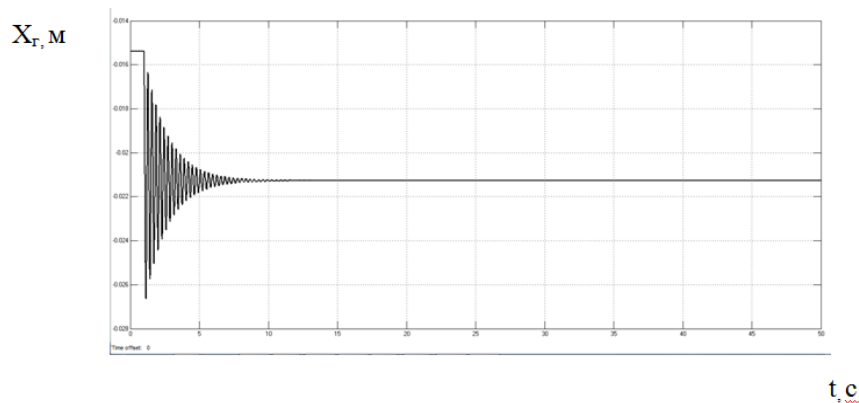


Рис. 4. Изменение координаты груза

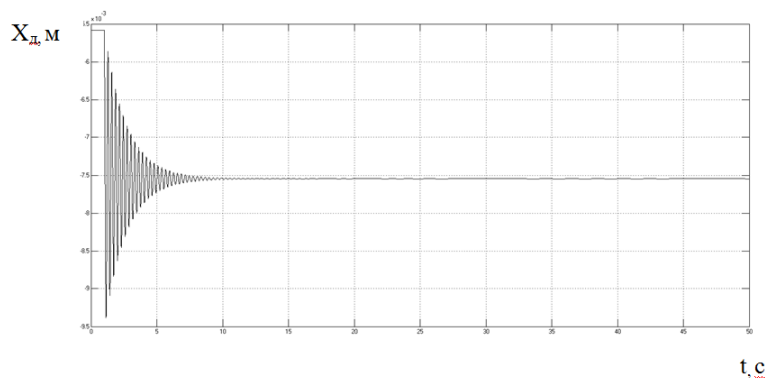


Рис. 5. Изменение координаты датчика

Проанализировав переходные процессы можно сделать вывод, что объект управления представляет собой осциллятор, что подтверждают экспериментальные данные. Введем обратную связь по показанию датчика с учетом того, что в канале управления существуют задержки и снимем график переходного процесса.

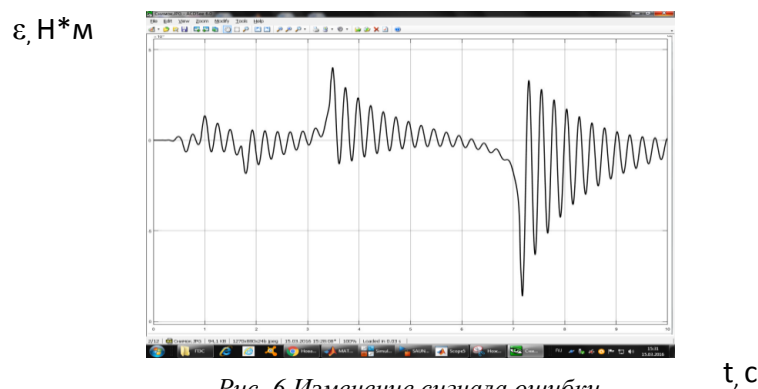


Рис. 6. Изменение сигнала ошибки

**Вывод.** Проанализировав переходные характеристики можно сделать вывод, что настройка регулятора в вертикальном канале требует нетривиальных подходов, а конкретно следует оперировать методами частотного синтеза, ввести ограничения на интегрирования, а также модифицировать регулятор сделав его адаптивным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2410299. МКИ В64G 7/00, G01M 99/00. Способ имитации пониженной гравитации. Приоритет с 23.03.1989 г. Патентообладатель – Кудрявцев И.А.
2. Патент CN 103887611. МКИ H01Q 15/16 Method for unloading of net surface of large netty antenna. Приоритет с 16.07.2014 г.
3. Патент US 20140041444. МКИ G01M1/00, B64G1/22 Apparatus for antenna weightlessness deployment test. Приоритет с 9.08.2012
4. Кравченко О.А., Богданов Д.Ю., Барыльник Д.В.. Математическая модель электромеханической многокоординатной силокомпенсирующей системы- Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика», 2014 – 8с.